

2. Башмаков И.А. Проблемы развития энергетики Москвы // Энергосбережение. 2006. № 6. С. 64-68; 2007. № 1. С. 60-63.
3. Данилов Н.И., Щелоков Я.М. Основы энергосбережения. Екатеринбург: Автограф, 2009. 528 с.

## **РАЗРАБОТКА ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ РЕЖИМОВ НАГРЕВА ЗАГОТОВОК В ЩЕЛЕВОЙ ПЕЧИ**

*Иванов Д.А., Сеничкин Б.К.*

*Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова  
ural-e-s@mail.ru*

*Введение.* Технология производства крупных винтовых пружин включает процесс оттяжки или вальцовки концов заготовок перед последующим нагревом и навивкой. Для этой цели концы заготовок нагревают до 900...1150 °С в небольших щелевых печах. Нижний рекомендуемый диапазон нагрева ограничен опасностью возникновения недогрева и образованию трещин на оттянутых концах заготовки вследствие хрупкости стали при обработке давлением. Превышение верхнего предела может привести к браку пружины из-за перегрева металла [1].

Кузнечные печи, к классу которых относятся и щелевые печи, являются крупными потребителями газообразного топлива. На нужды кузнечно-термического производства расходуется 3...3,5 % общего потребления топлива в стране. В то же время эффективность использования топлива в нагревательных и термических печах к настоящему времени невысока. Особенно низки показатели использования топлива в печах машиностроения. В частности, энергетический КПД щелевых печей кузнечно-прессового производства составляет 2,9...14,3 % [2].

Для повышения энергетической эффективности процесса нагрева заготовок и снижения тепловых потерь была разработана и запатентована щелевая двухсекционная нагревательная печь оригинальной конструкции [3].

Разработанная печь позволила за счет изменения конструкции сократить тепловые потери, а применение сводового отопления увеличило скорость и равномерности нагрева металла, с уменьшением расхода топлива при работе печи в режиме холостого хода [4].

*Постановка задачи и методика исследования.* Основная задача исследований состоит в определении рациональных (с точки зрения энергопотребления) режимов работы печи при нагреве заготовок в двух секциях.

Исследования производились с помощью математического моделирования. Объект моделирования – технология нагрева стального цилиндрического прутка в щелевой нагревательной печи. В постановке задачи прутки с диаметром 19-36 мм и производительность 150...180 шт./ч, последовательно проходят 2 зоны печи, в каждой из которых установлена сводовая горелка марки ГР-85. Воздух в горелки подается после стального рекуператора типа «термо-блок» с температурой 200 °С. Регулирование горелок происходит независимым образом, что позволяет создавать в каждой зоне различный тепловой поток для

нагрева заготовки. Математическое модель основана на допущении, что теплообмен в печи происходит в системе трех тел: газ-кладка-металл. Для определения результирующих тепловых потоков на заготовку и свод печи использован метод сальдо-потоков с совместным решением уравнений теплового баланса печи на основании селективно-серой модели излучения газа. Математическое моделирование произведено с учетом влияния процессов обезуглероживания и окисления металла [5].

*Результаты исследования.* Нагрев заготовки в зависимости от диаметра и производительности может происходить как при двух работающих горелках (в двух секциях печи), так и при одной работающей горелке (во второй по ходу движения заготовки секции).

Определяющим параметром нагрева заготовки в одной или двух секциях печи является расход газа на плоскопламенную горелку. Горелки марки ГР работают в пределах регулирования 25...100 % от номинального значения, т.о. если для нагрева заготовок с заданной производительностью расход газа на одну горелку превышает максимально допустимый предел регулирования, то нагрев осуществляется в двух секциях.

При нагреве заготовок в двух секциях (при относительно большой производительности) общий КПТ печи увеличивается с уменьшением конечной температуры нагрева заготовки в первой секции (рис. 1). Таким образом, с целью снижения тепловых потерь, рационально понижать температуру металла на выходе первой секции. Лимити-

рующими обстоятельства при этом являются расход природного газа в горелке второй секции.

При снижении конечной температуры нагрева заготовки в первой секции происходит снижение расхода газа в этой секции. Одновременно с этим снижается средняя температура кладки в первой секции. Во второй секции тепловая нагрузка увеличивается, повышается средняя температура кладки, как следствие увеличиваются тепловые потери излучением и теплопроводностью кладки из второй секции в первую. Однако, поскольку эти тепловые потоки все равно остаются в пределах рабочей камеры, то они не снижают общий КПТ печи.

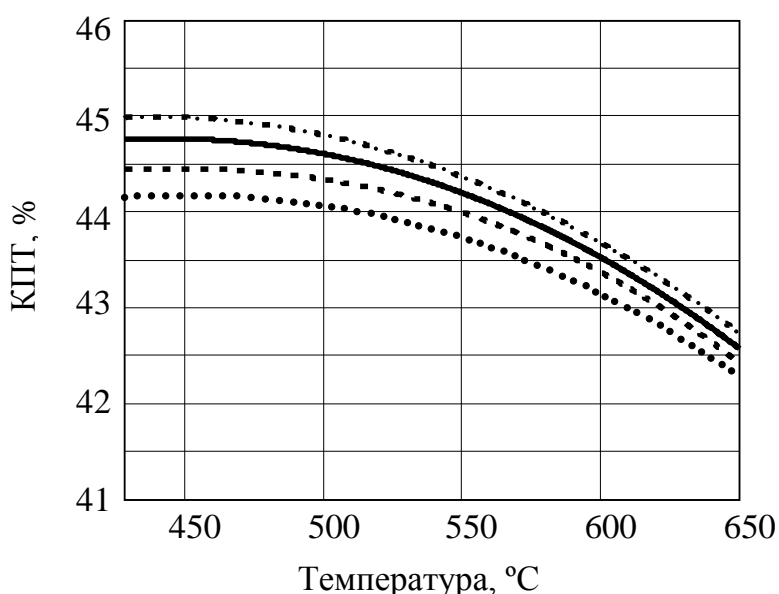


Рис. 1. КПТ печи в зависимости от конечной температуры нагрева заготовки в первой зоне. Диаметр заготовки 30 мм, конечная температура нагрева заготовки 950 °С. Производительность:

- ..... — 180 прутков/ч (367,6 кг/ч);
- — 170 прутков/ч (347,2 кг/ч);
- — 160 прутков/ч (326,8 кг/ч);
- .-.- — 150 прутков/ч (306,3 кг/ч)

При повышении конечной температуры нагрева заготовки в первой секции увеличивается как температура внутри первой секции, так и средняя температура во всей печи. Увеличение средней температуры кладки в печи интенсифицирует тепловые потери и процессы окисления и обезуглероживания стали (рис. 2).

На основании проведенных исследований составлены технологические карты рациональных режимов работы печи при заданной производительности. Наилучший энерго- и ресурсосберегающий эффект дает совмещение умеренного нагрева в первой секции и форсированного нагрева во второй секции, что позволяет кроме увеличения КПД печи снизить глубину обезуглероженного слоя металла и уменьшить окисление стали за счет снижения времени пребывания заготовки при высоких температурах.

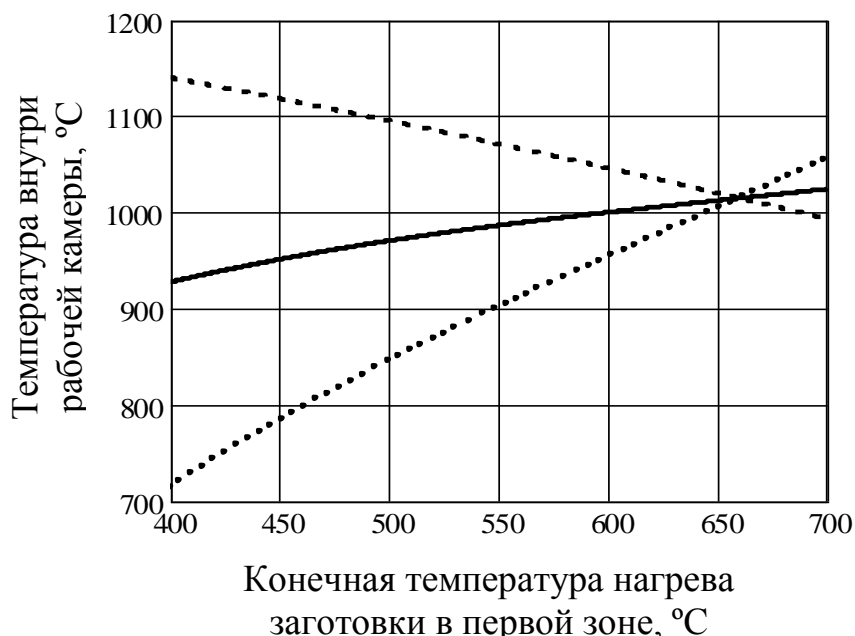


Рис. 2. Температура внутри рабочей камеры печи в зависимости от конечной температуры нагрева заготовки в первой зоне: ..... — первая секция печи; - . - . — вторая секция печи; — — среднее значение температуры в секциях. Диаметр заготовки 30 мм, конечная температура нагрева заготовки 950 °С. Производительность 180 прутков/ч (367,6 кг/ч)

### Библиографический список

1. Батанов М.В., Петров Н.В. Пружины. М.: Машиностроение, 1968. 216 с.
2. Сорока Б.С. Топливо- и материалосберегающая технология в процессах нагрева и термообработки металла. М.: ВНИИЭгазпром, 1986. 59 с. (Обз. информ. Сер. Использование газа в народном хозяйстве. Вып. 4).
3. Патент на полезную модель 64330 РФ, МПК F27B 9/00, C21D 9/00 Нагревательная щелевая печь / Сеничкин Б.К., Коноплев А.Д., Иванов Д.А.; Опубл. 27.06.2007, БИПМ № 18. С. 879–880.
4. Иванов Д.А., Сеничкин Б.К. Исследование режимов работы двухсекционной щелевой нагревательной печи // Энергетики и металлургии настоящему и будущему России: материалы 11-й Всерос. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и специалистов / Под общ. ред. Б.К. Сеничкина. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2010. С. 169–170.
5. Коновалов А.В., Муйземнек О.Ю. Математическая модель окалинообразования и обезуглероживания металла в процессе нагрева // Металлы. 2000. № 4. С. 40–43.